模式化氣象變因對尼羅草牧草產量影響

李裕娟 [1]、楊純明 [1*]、洪國源 [2]、許福星 [2]
[1] 行政院農業委員會農業試驗所農藝組
[2] 行政院農業委員會畜產試驗所飼作組

摘要

本研究於 2002 年 6 月至 2003 年 10 月共六個作季之試驗期間，分別調查尼羅草(*Acroceras macrum* Stapf)收割時之植株高度及小區鮮草與乾草產量，並收集試區(臺南縣新化鎮行政院農業委員會畜產試驗所農場)一級農業氣象測站之測值。根據試驗資料分析結果，除了累積日照時數(DSH)之外，六個作季的植株高度及產量和個別氣象變因之間，包括各栽植作季之累積日均溫(DMAT)、累積日降水量(DP)、累積日蒸發量(DE)及累積日射量(IR)，皆未達顯著相關。經將植株高度及產量與此五個氣象變因進行多元線性複迴歸分析，發現鮮草產量與DSH、IR、DE 及 DMAT 等四氣象變因可構成最佳四元直線複迴歸模式，而乾草產量則可與 DMAT 及 DP 等二氣象變因構成最佳二元直線複迴歸模式。這些多元直線複迴歸模式之估測值與實測值呈現近似於 1:1 的比較結果，斜率分別達 0.9999 及 0.9961。另割刈時之尼羅草植株高度與鮮草產量之間亦呈現顯著正相關，顯示生育良好具有較高株高之尼羅草牧草地，可能獲得較多鮮草產量。

關鍵詞： 尼羅草、氣象變因、牧草產量、植株高度、多元線性複迴歸分析。

* 通信作者, cmyang@wufeng.tari.gov.tw
投稿日期：2004 年 1 月 16 日
接受日期：2004 年 2 月 16 日

作物、環境與生物資訊 1:39-46 (2004)
Crop, Environment & Bioinformatics 1:39-46 (2004)
189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung Hsien 41301, Taiwan (ROC)

Modeling Climatic Effects on Forage Production of *Acroceras macrum*

Yuh-Jyuan Lee[1], Chwen-Ming Yang[1*], Kuo-Yuan Hong[2] and Fu-Hsing Hsu[2]

[1] Division of Agronomy, Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan (ROC)

[2] Division of Forage Crops, Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Hsinhua, Tainan Hsien, Taiwan (ROC)

ABSTRACT

Field experiments were conducted at the research farm of Taiwan Livestock Research Institute (Hsinhua, Taiwan) to measure plant height and forage yield (fresh weight-based and dry weight-based) of *Acroceras macrum* Stapf and to collect meteorological data so as to investigate effects of climatic variables on forage production. The daily mean air temperature (DMAT), daily precipitation (DP), daily evaporation (DE), daily irradiance (IR), and daily sunshine hour (DSH) during the six growing seasons, from June 2002 to October 2003, were accumulated to correlate with plant height and forage yield. Results showed that, except the accumulated DSH, no significant difference was found in relations of plant height and forage yield to other climatic variables. By the multiple linear regression analysis, it indicated that fresh weight-based forage yield was best-fitted to a four-variable linear regression model made from the seasonal accumulated values of DMAT, DE, IR and DSH, while dry weight-based forage yield was best estimated by a two-variable linear regression model made from the seasonal accumulated values of DMAT and DP. The estimated values from the models to the

measured values were shown to have near 1 to 1 precision estimation, with the slopes of 0.9999 for fresh yield and 0.9961 for dry yield. Results also showed that fresh yield of forage was positively correlated with plant height at harvest, suggesting that the increased plant height would get a better forage production.

Key words: Nilegrass (*Acroceras macrum* Stapf), Climatic variable, Forage production, Plant height, Multiple linear regression analysis.

前言

尼羅草(*Acroceras macrum* Stapf)爲多年生細莖型牧草，其外觀形態與盤固草(*Digitaria decumbens* Stent)類似，惟前者光合產物路徑爲 C_3 型，後者則爲 C_4 型(Oliveira *et al*. 1973)。尼羅草之牧草營養價值高，牲畜嗜口性佳(Lippke 1980)，在南非或中東地區已成爲常用的牧草，可供製作乾草或青貯料(Rhind and Goodenough 1976)。尼羅草雖被歸屬於旱地作物，但乾旱對其生長極爲不利(Rout *et al*. 1990)，可造成植株生長停滯甚或枯萎死亡。行政院農業委員會畜產試驗所於多年前從南非引進尼羅草實生苗，經過多年的繁殖栽培而選育出 AC15 品系，具有比盤固草較高的乾物產量與粗蛋白質，以及較優的銹病抗性(Shaug *et al.* 2002)。又因在冬季供水充沛地區仍然生長良好，葉片乾枯率低，所以地上部植體仍然可以製成色澤光亮的乾草，全年的乾草產量每公頃可達 25 到 30 公噸之多。由於這些特點及優良的品質，此一品系已於民國 89 年底正式命名爲「臺畜草一號」。藉由臺畜草一號的推廣種植，如今在生長緩慢的秋冬季節經適當灌溉管理，其生產已可彌補盤固草來源不足，也逐漸替代盤固草感染銹病地區的栽培(Shaug *et al.* 2002)。

一般牧草的產量及品質受到季節及割期很大影響(Chen and Hsieh 1994, Chen *et al*. 1997)，而芻料的品質又受到生育日數、栽植氣象環境(諸如氣溫、降水量、日射量等)及栽培條件(諸如施肥及灌溉等)而改變(Shy *et al.* 1995, Hsu *et al.* 1996, Chen *et al.* 1997)。通常隨著生育日數的增加，芻料的消化率與粗蛋白含量會漸減(Shaver *et al*. 1998)，而且牧草的成熟度會影響乾草的產量和品質；如盤固草粗蛋白質會隨成熟度增加而減少，反之粗纖維、酸洗及中洗纖維則增加(Shaver *et al*. 1998)，使得營養分及牲畜消化率亦隨著成熟期延長而減少(Lee *et al*. 1991)。尼羅草似有相同現象(Shaug *et al.* 1999)，經由不同割期的試驗結果發現，以生長 56 日左右採收者可得到高產及高品質。又從尼羅草及盤固草之週年栽培調查結果顯示，以春季之乾物產量最高，其次爲秋季、夏季及冬季，而生長日數則是以乾旱季節的冬季最長(Shaug *et al.* 2002)。

Hsu *et al.* (1996)在探討氣象因子及灌溉對盤固草生產力及乾草品質影響時指出，噴灌可以增加乾物產量(23%)及粗蛋白質含量，而且盤固草濕季生長期間乾物產量與有效積溫、降雨量及日射量的複迴歸關係，可以正確地估算其乾物產量。Chang *et al.* (2002)在分析氣象變因對盤固草產量影響時亦發現，以各作季累積之日均溫、降水量及日射量等三項氣象變因組成之直線複迴歸程式適用於解釋盤固草鮮草產量。Schalkwyk and Gertenbach (2000)研究也提到，尼羅草在當地秋冬季節收割時間以 2 月產量與品質優於 12 月者，反應了氣溫與光照的綜合效果。

目前關於尼羅草對臺灣地區氣象環境的適應性尚未臻明瞭，無論係單一氣象因子或綜合效應對牧草生產的影響均未完全釐清。本研究乃在行政院農業委員會畜產試驗

所農場進行田間試驗，調查六個栽培作季的牧草產量及收獲時的植株高度，同時收集試區之一級農業氣象測站測值資料，以探討氣象變因對尼羅草產量的影響，並據以建立氣象變因估測產量的關係模式。

材料與方法

本研究之試驗地點爲臺南縣新化鎭之行政院農業委員會畜產試驗所新化總所試驗農(牧)場（23°04′N，120°26′E，海拔高度 31 m），參試尼羅草品種爲臺畜草一號(即舊稱 AC15 品系)。土壤質地爲酸性砂質壤土，土壤酸鹼值約爲 pH 4.8，有機質含量低於 0.8%。試驗期間自 2002 年 6 月 27 日起至 2003 年 10 月 2 日止，計有六個生長作季，每一作季定義爲前期割刈後第一天至當季收割日。六個作季之起迄日期如次: 第一季—06/27/2002 至 08/19/2002，第二季—08/20/2002 至 10/25/2002，第三季—10/26/2002 至 03/07/2003，第四季—03/08/2003 至 05/02/2003，第五季—05/03/2003 至 07/05/2003，及第六季—07/06/2003 至 10/02/2003。試驗牧草地總面積約爲 3.6 公頃，規劃成相等大小之四個重複小區，每小區面積約爲 0.9 公頃，未再將小區細分更小區域。

在肥料施用方面，第一、二作季皆於前期割刈後 9 天(07/05/2002 及 08/28/2002)施用尿素(46% N，粒劑，臺灣肥料公司，高雄市) 220 kg ha^{-1}，第三作季於前期割刈後 31 天(11/25/2002)施用複合肥料臺肥一號(N：P_2O_5：K_2O=20%:5%:10%，粒劑，臺灣肥料公司，高雄市) 220 kg ha^{-1}，第四作季於前期割刈後 39 天(04/15/2003)施用尿素 340 kg ha^{-1}，第五作季未施用肥料，而第六作季於前期割刈後 22 天(07/24/2003)施用尿素 160 kg ha^{-1} 及臺肥一號 160 kg ha^{-1}。爲避免農藥對試驗之干擾，試驗期間未施用任何藥劑，而通常在每一作季割刈後 1-2 週內，以人工除草方式減少雜草族群。

在氣象資料收集方面，係直接收取試區內設立之農業委員會畜產試驗所一級農業氣象測站之氣象測值，包括每日平均氣溫(溫溼度計，型號 E-701，YOKOGAWA In., Japan)、每日累積日射量(日射計，型號 MS-102，YOKOGAWA Inc., Japan)、每日日照時數(Campbell-Stokes 式日照時期計，型號 SO2900，SIAP Bologna，Villanova，Italy)、每日降水量(雨量計，型號 B-011，YOKOGAWA Inc., Japan) 和每日蒸發量(蒸發皿，型號 D-271，YOKOGAWA Inc., Japan)等五項氣象因子。再計算各作季生長期間之氣象測值累積量，以前期收割日之隔日爲當次作季之第一天，以當次作季之收割日爲最後一天。各作季均計算此五項氣象因子的測值累積量作爲氣象變因，即累積日均溫(DMAT, daily mean air temperature)、日降水量(DP, daily precipitation)、日蒸發量(DE, daily evaporation)、日射量(IR, daily irradiance)及日照時數(DSH, daily sunshine hour)等五項。各作季於收割時，同時調查尼羅草植株的地上部植體高度及小區牧草產量。其中，植株高度以直尺量測，自地面起至植株最高頂，每重複小區逢機量取 12 樣株。牧草產量則於每一重複小區逢機收割三點，每點面積 1 m×1 m，於稱取鮮草重量(即小區鮮草產量)後，再以 60-70℃烘乾 72 h 稱取乾草重量(即小區乾草產量)。各重複小區皆以平均值爲小區代表值，進行統計分析。本研究之試驗資料統計分析，係採用 SAS 8.1 軟體(Statistical Analysis System Inst. 1998)及 Sigmaplot 2001 軟體(SPSS ASC BV, The Netherlands)進行運算。

結果與討論

本試驗期間由 2002 年 6 月下旬起至 2003 年 10 月上旬止，計經歷六個生長季節(作季)，所調查試區內之五個氣象因子的測值資料分佈如 Fig. 1。依照圖示，每日平均氣溫(DMAT)在 2002 年 6-9 月期間爲持續高溫狀態，隨後緩慢下降直至翌年 1 月間達到低溫谷底，再逐漸上升直至 2003 年夏秋季節爲另一高溫波峰。每日降水量(DP)的變化極大，2002 年試區的降水量集中在夏季 6-8 月間，秋季 9-11 月間呈現明顯的乾季現象，至 12 月間才有零星的降雨; 2003 年的降水量變化雖略不同，但仍以夏季爲主要的降雨季節，且 9 月的雨量亦甚豐沛。日射量(IR)以夏季爲最高，冬季則明顯降低。由於日照時數(DSH)的長短與日射量高低息息相關，故其變化趨勢與日射量雷同，夏季高而冬季偏低。每日蒸發量(DE)在不同季節的變化十分明顯，一般以夏季高而冬季低，惟在多雨的夏季雖因高氣溫與高日射量利於蒸發，當連綿下雨致使相對濕度近於飽和狀態及長時間遮陰時，將大幅減少蒸發量，造成每日蒸發量的顯著差異。

由上述氣象環境之變化，可知不同作季的氣象環境確實存在相當差異。爲釐清氣象因子對尼羅草牧草產量的作用，乃首先探究個別氣象變因與產量之間的關係。將所調查的五項氣象因子測值予以累加，由各作季計算出的累積量與收割時的植株高度、鮮草產量與乾草產量等進行相關分析，結果如 Fig. 2A 及 Fig. 2B 所示。發現除了累積日照時數之外，其餘四項氣象變因與株高及產量的關係皆未達顯著水準。累積日照時數與乾草產量及植株高度之間係呈現二次曲線相關，決定係數(R^2)分別爲 0.9139 ($P<0.0253$)及 0.9801 ($P<0.0028$); 顯示隨著累積日照時數的增加，乾草產量和植株高度將逐漸上升至最高點後再下降。據此可知，單一氣象變因顯然無法充分解釋尼羅草的生產表現，亦可推知其生長行爲受到不止一項氣象變因的影響。

Frank and Hofmann (1989)對五種禾草的生長期及有效積溫之關係進行研究後指出，生長期與有效積溫的關係視不同草類而異，呈現線性相關的草類爲 prairie junegrass (*Koeleria pyramidata*)、green needlegrass (*Stipa viridula*)及 needle and

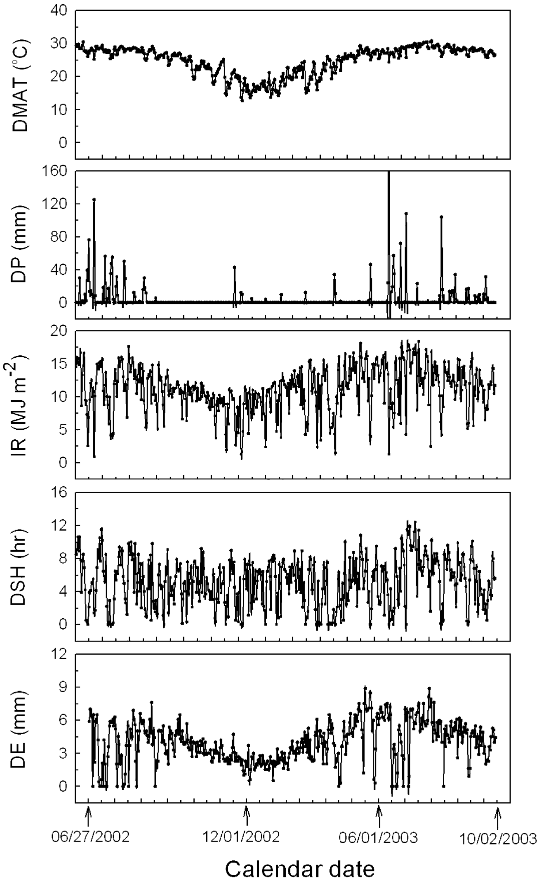

Fig 1. Changes in climatic factors during the growing seasons of 2000-2003 for plants of *Acroceras macrum* Stapf grown in the research farm of Taiwan Livestock Research Institute (Hsinhua, Taiwan).

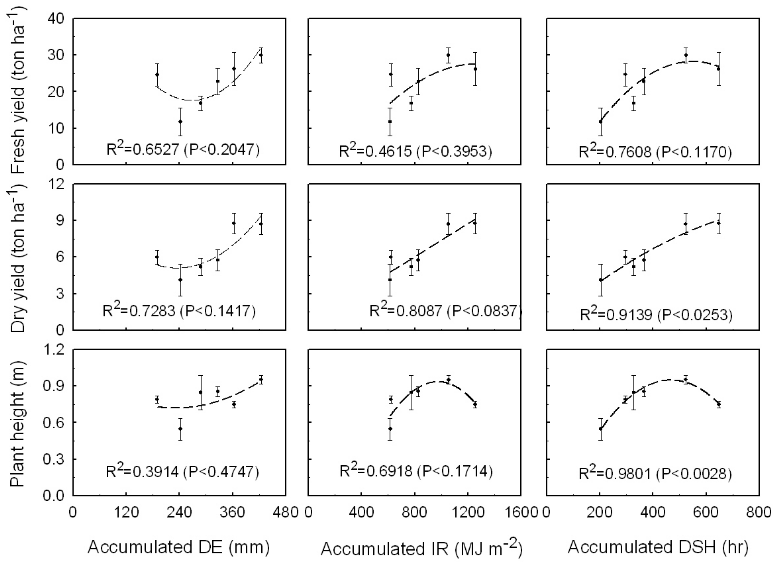

Fig.2A. Correlation of fresh weight-based forage yield, dry weight-based forage yield and plant height at harvest with the seasonal accumulated values of daily evaporation (DE), daily irradiance (IR) and daily sunshine hour (DSH) for plants of *Acroceras macrum* Stapf grown in the growing seasons of 2002-2003.

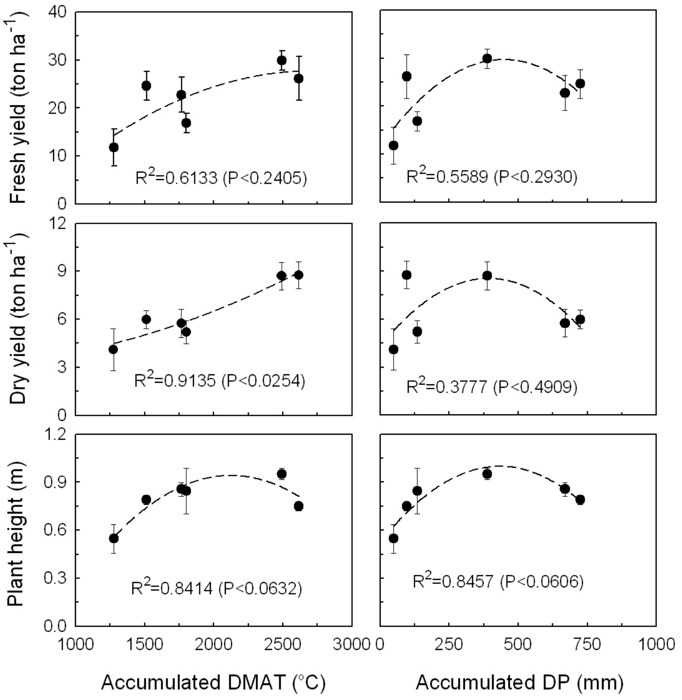

Fig.2B. Correlation of fresh weight-based forage yield, dry weight-based forage yield and plant height at harvest with the seasonal accumulated values of daily mean air temperature (DMAT) and daily precipitation (DP) for plants of *Acroceras macrum* Stapf grown in the growing seasons of 2002-2003.

thread (*Stipa comata*)等三種，呈現曲線相關的草類爲 blue grama (*Bouteloua gracilis*)及 western wheatgrass (*Pascopyrum smithii*)等二種。Yang (1994)在探討氣象變因與水稻產量關係時發現，水稻產量與生育期間之累積日射量及累積氣溫之間呈現正相關，產量隨著全生育期日射量及氣溫的增加而上升。Hsu *et al.* (1996)以盤固草爲試材的試驗結果，認爲有效積溫能夠正確的估算出盤固草的乾物產量，Chang *et al.* (2002)則指出盤固草產量無法以單一氣象因子的高低來解釋生長季節及栽植地點所造成產量上的差異，必須借助於多元線性複迴歸模式。

爲進一步探討氣象變因對尼羅草產量的影響，並提高氣象模式對產量變異估測的準確度，乃繼續進行多元線性複迴歸分析，試圖建立多個氣象變因的關係模式。小區產量及植株高度與調查的五個氣象變因的多元線性複迴歸分析結果(Table 1)，顯示鮮草產量可由各作季累積之 DMAT、DE、IR 及 DSH 構成之最佳四元直線複迴歸模式估測，其決定係數(R^2)高達 0.9992 ($P<0.0434$)，而淨決定係數(partial R^2)之高低依序爲 DSH、IR、DE 及 DMAT。乾草產量則可由 DMAT 及 DP 構成之最佳二元直線複迴歸模式估測，R^2 達 0.9433 ($P<0.0135$)，淨決定係數以 DMAT 較大。此一結果顯示，尼羅草之鮮草及乾草產量與氣象變因組合的多元線性複迴歸模式確可提高對產量估測的準確度，而且這些關係模式的估測值與尼羅草鮮草與乾草產量的實測值之關係均呈現近似於 1：1 的比較結果(Fig. 3)，斜率分別達 0.9999 及 0.9961，又估測根均方誤差(RMSE)僅分別爲 0.1744 及 0.4142。由此可知，這些模式的估測值與實測值間的誤差甚低，模式確實可以反映產量的變異範圍。

Hsu *et al.* (1996)根據臺南縣新化鎮試驗地區五年來於 5-10 月雨季期間生長所割刈的盤固草乾物產量與氣象變因進行統計分析的結果，指出乾物產量可由有效積溫、降雨量及日射量構成之最佳三元直線複迴歸模式予以估測，R^2 達 0.87 ($P<0.05$)，並驗證其能夠準確的估測出盤固草乾物產量。同時亦建議未來可利用這些包含多個氣象變因的複迴歸模式來預測牧草的生產，或利用於預測進行放牧的適當時期。Chang *et al.* (2002)在盤固草的氣象環境研究結果則顯示，由累積日均溫、累積降水量及累積日射量等三項氣象變因組成的直線複迴歸程式，適用於解釋盤固草鮮草產量。本研究獲

Table 1. The best-4 and best-2 variables multiple linear regression equations for estimating fresh weight-based forage yield and dry weight-based forage yield of *Acroceras macrum* Stap from climatic factors, respectively.

Item	$Y=a+a_1 X_{\Sigma DMAT} + a_2 X_{\Sigma DP} + a_3 X_{\Sigma DE} + a_4 X_{\Sigma IR} + a_5 X_{\Sigma DSH}$						R^2	P	Cp
	a	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5			
Fresh yield,	38.4083	-0.0136	-	0.0849	-0.1260	0.2325	0.9992	0.0434	5.0000
Partial-R^2		0.0192		0.1316	0.2670	0.5813			
Dry yield,	-0.7232	0.0035	0.0012	-	-	-	0.9433	0.0135	3.0000
Partial-R^2		0.9066	0.0367	-	-	-			

ΣDMAT：Accumulated daily mean air temperature（℃）
ΣDP：Accumulated daily precipitation（mm）
ΣDE：Accumulated daily evaporation（mm）
ΣIR：Accumulated irradiance（MJ m^{-2}）
ΣDSH：Accumulated daily sunshine hour

得的多元線性複迴歸模式，仍需要不同作季資料的驗證，俾利用於尼羅草產量的預測功能。若欲將這些氣象模式擴大應用於不同栽植地區，則需要不同地區的產量與氣象資料進行模式的修正與校正，找出各地區的合適參數，才能獲得較爲準確的預測值。

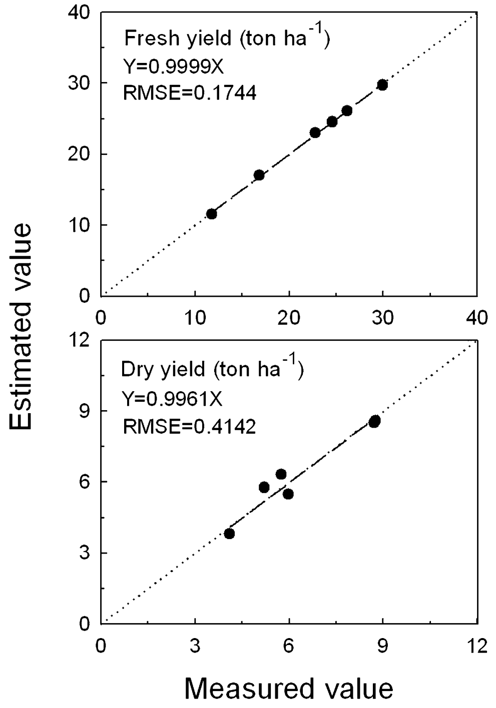

Fig. 3. The relations of the estimated values of fresh-based forage yield and dry-based forage yield from the multiple regression models to the corresponding measured values for plants of *Acroceras macrum* Stapf grown in the growing seasons of 2002-2003.

另由尼羅草收割時的植株高度與鮮草產量之間的直線正相關關係(Fig. 4)，可以推測在生育良好而有較高植株高度的尼羅草牧草地，將可以生產出較多的鮮草產量。文獻資料顯示，一般禾本科作物植株的葉領高度與株高關係顯著，且直立型草類作物的株高與產量之間具有正相關 (Shaug 1989)。多年生細莖型的尼羅草產量除了與植株分蘗(或分枝)有關之外(Shaug *et al.* 1999)，本研究進一步發現亦與株高具有顯著正相關。因此，若非處於乾旱或土壤缺水狀況，株高較高的尼羅草牧草地將可預期具有較大的產量，亦可反映其生長良窳。

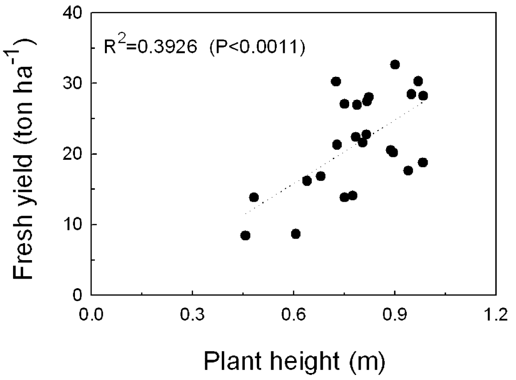

Fig. 4. Correlation of fresh-based forage yield with plant height for plants of *Acroceras macrum* Stapf grown during the growing seasons of 2002-2003.

綜合上述結果，在高日射量、氣溫及日照時數的地區將利於尼羅草植株的生長，另高蒸發量則反映出當地當時土壤含水量的不虞匱乏，有助於生長的旺盛，因此符合生育良好的條件需求。而在生育良好的情況下，將可期待獲得較優的植株高度及較佳的牧草產量。本項研究結果不僅解釋了尼羅草產量與氣象環境的關係，所建立的多元線性複迴歸模式(氣象模式)亦可以作爲適地適作的選擇和栽培管理的標準，更可據此採行適當的管理方法來調整有利於尼羅草植株生長的微氣象環境，生產出高產而質優的牧草。此外，生產者亦可善用此一多氣象變因組成的複迴歸模式來估測與預測尼羅草牧草產量，在市場需求面的營造下，充分發揮其生產的經濟效益。惟此類經驗模式(empirical model)仍有其使用上的地域限

制，尤其在氣象環境差異顯著的地區，將需要另行試驗探討找出適合當地的專用模式，才不致於發生明顯估算誤差。

誌謝

本文研究承蒙行政院農業委員會農業試驗所之計畫經費(92 農科-8.1.1-農-C1(1))支持，特以致謝。

引用文獻

Chang FM, CM Yang, KY Hong, YM Shy, FH Hsu, RH Buu, WW King (2002) Analysis of climatic factor on forage yield of pangolagrass. (in Chinese) J. Agric. Res. China 51(1):15-24.

Chen JF, WC Hsieh (1994) Effect of cutting frequency on the growth of pangolagrass and soil hardness. (in Chinese) Taiwan Livestock Res. 27(4):285-292.

Chen CS, YK Cheng, YS Hwa, SC Chang, W Chen (1997) The contents of acid-detergent fiber, neutral-detergent fiber and crude protein in pangolagrass affected by seasons, locations and genotypes. (in Chinese) Taiwan Livestock Res. 30(3):237-249.

Frank AB, L Hofmann (1989) Relationship among grazing management, growing degree-days, and morphological development for native grasses on the Northern Great Plain. J. Range Manage. 42:199-202.

Hsu FH, KY Hong, CC Cheng (1996) Effect of climatic factors and irrigation on productivity and hay quality of pangolagrass. (in Chinese) Chinese J. Agromet. 3(4):209-215.

Lee CF, RH Buu, YM Shy, MC Chen (1991) The nutritive value of pangolagrass A254 at different stages of growth. (in Chinese) Taiwan Livestock Res. 24(1):59-65.

Lippke H (1980) Forage characteristics related to intake, digestibility and gain by ruminants. J. Anim. Sci. 50：952-961.

Oliveria BA de, PR de S Faria, SM Souto, AM Carneiro, J Dobereiner, S Aronovich (1973) Identification of tropical grasses with the C_4 pathway of photosynthesis from leaf anatomy. Pesquisa Agrope Cuaria Brasileira, Agronomia 8(8):267-271。

Rhind J, DCW Goodenough (1976) The assessment and breeding of *Acroceras macrum* Stapf. Proc. Grassland Soc. Southern Africa 11：115-117.

Rout CJ, LG Howe, LP du Toit (1990) The yield of *Paspalum dilatatum* and *Acroeras macrum* under irrigation in the Dohne Sourveld. South African J. Plant Soil. 7(4)：240-242.

SAS Institute (1998) SAS/STAT user's guide. Version 8.1. SAS Inst., Cary, NC, USA.

Schalkwyk AP van, WD Gertenbach (2000) The effect of closing date on the performance of beef weaners grazing foggaged *Digitaria eriantha* and *Acroceras macrum*. South African J. of Anim. Sci. 30(1)：82-86.

Shaug SP (1989) Study on selection indices of breeding for forage sorghum. (in Chinese) Taiwan Livestock Res. 22(1):59-67.

Shaug SP, KD Lo, JB Lin (1999) Effect of cutting stages on forage yield and quality of nilegrass. (in Chinese) Taiwan Livestock Res. 32(3):219-226.

Shaug SP, JB Lin, WW Jin, W Chen, YY Chen, SC Chang, SF Yan (2002) Breeding of nilegrass Taishi No. 1. (in Chinese) Taiwan Livestock Res. 35(2):91-100.

Shaver RD, LD Satter, NA Jorgensen (1998) Impact of forage fiber content on digestion and digested passage in lactation dairy cows. J. Dairy Sci. 71：1556-1565.

Shy YM, RH Buu, CK Liao (1995) Effects of phosphorus and potassium fertilizers on forage yield, quality and mineral composition of pangolagrass. (in Chinese) J. Agric. Res. China 171：57-70.

Yang CM (1994) Response of rice yield in relation to solar radiation and air temperature under soil water deficits. (in Chinese) Chinese J. Agromet. 1:27-34.